

Pilzökologische Datenerfassung muss nicht aufwändig sein

Teil 1: Messung von Witterungseinflüssen für den schmalen Geldbeutel

HANS HALBWACHS

HALBWACHS, H. (2009): Collecting ecological data in fungal research made simple. – Part 1: Measuring weather parameters on a shoestring. *Z. Mykol.* 75/1: 87-104.

Key words: ecology, fungi, weather, air, soil, temperature, humidity, water content, data collection, low-cost methods

Zusammenfassung: Es werden preisgünstige Methoden bzw. Geräte zur Messung wichtiger Witterungsparameter für die pilzökologische Feldforschung vorgestellt und auf Eignung geprüft. Neben einfachen Messmöglichkeiten für Luft- und Bodentemperatur, Luft- und Bodenfeuchte und Niederschlag wird auch der Einsatz von digitalen Datenaufzeichnungsgeräten („USB-Logger“) beschrieben.

Die Studie zeigt damit Möglichkeiten auch für Freizeitmykologen auf, mit weniger aufwändigen Methoden für die mykologische Feldforschung wissenschaftlich relevante Arbeit zu leisten. Da die USB-Logger nicht nur für Berufsmykologen erschwinglich sind und sie mit dem PC einfach zu verarbeitende Zeitreihen erzeugen, sollte ihnen der Vorzug gegeben werden.

Abstract: This article presents low-cost methods and devices for the measurement of important weather parameters in the ecological field research on fungi. In addition to simple ways of measuring air and soil temperature, air and soil humidity, and precipitation, the use of digital registration devices („USB data logger“) is described.

Thus the study shows options, also for amateur researchers, how to use less costly methods that contribute to mycological field research in a scientifically acceptable fashion. USB data logger should be favoured because they produce computerfriendly time series and are at the same time affordable to both, professional and non-professional mycologists.

Diese Artikelreihe wendet sich vor allem an die Mykologen, die Pilzkunde nicht als Beruf ausüben bzw. studiert haben. Aber auch für Berufsmykologen ist die Serie von Interesse, weil Methoden vorgestellt werden, die trotz ihrer Einfachheit für Forschungszwecke geeignet sind.

Teil 1 befasst sich mit der Erfassung von Witterungsdaten, wie sie besonders für Untersuchungen zu Phänologie und Biodiversität relevant sind. Dabei werden auch Witterungseinflüsse auf den Boden berücksichtigt, weil sie in der Pilzökologie inzwischen ins Blickfeld gerückt sind (z.B. BÄSSLER & HALBWACHS 2009, HALBWACHS 2007). Es ist deshalb häufig sinnvoll, nicht nur

Anschrift des Autors: Hans Halbwachs, Danziger Str. 20, D-63916 Amorbach

Temperatur und Feuchte der bodennahen Luft, sondern auch des Bodens zu erfassen. Zusätzlich ist häufig der lokale Niederschlag von Interesse.

Die Methodenauswahl zielt vornehmlich auf ein günstiges Preis-Leistungsverhältnis und Praxistauglichkeit ab. Neben einfacher und zuverlässiger Handhabung stehen Geräte mit digitaler Speicher- und Auswertungsmöglichkeit im Vordergrund („Datenlogger“).

Auswahl der Methoden bzw. Geräte

Die Marktbeobachtung während der letzten 10 Jahre zeigt, dass es eine Reihe von potentiell geeigneten, preisgünstigen Produkten gibt, die ursprünglich nicht für Forschungszwecke gedacht waren. Nach Überprüfung der technischen Daten laut Hersteller kamen 11 Geräte in die engere Auswahl, die überwiegend in der Praxis getestet wurden. Die Anforderungen an die absolute Genauigkeit (Treffsicherheit, Präzision) der unterschiedlichen Messkategorien lauteten wie folgt:

Luft- und Bodentemperatur	± 1 °C
Luftfeuchte	± 5 rel% (nicht % des Messwerts)
Bodenfeuchte	± 3 % (Gewichts-%, nicht % des Messwerts)
Niederschlag	± 5 mm

Die Wiederholgenauigkeit (Reproduzierbarkeit) von Messungen sollte sich unter den Werten der Präzisionsanforderungen bewegen.

Die unterschiedlichen Methoden bzw. Geräte wurden, wo sinnvoll bzw. möglich, auf Einhaltung der Messanforderungen stichprobenartig getestet. Außerdem wurden die Handhabung und die Feldeignung überprüft. In der folgenden Tabelle sind die Prüfmethoden für Präzision und Reproduzierbarkeit skizziert (s. Tab. 1).

Zur Beurteilung der Handhabung und Felddauglichkeit wurde auf die langjährige Erfahrung des Autors mit den meisten der hier vorgestellten Methoden zurückgegriffen.

Tab. 1: Prüfmethoden.

Messparameter	Präzision / Reproduzierbarkeit
Temperatur Boden/Luft	Vergleich zu Eichthermometer in Wasserbad mit mindestens 3 Messpunkten zwischen 0 und 20 °C
Bodenfeuchte	Vergleich mit gravimetrischer Bestimmung (Auswiegen vor und nach Trocknung, s.a. Abschnitt zur praktischen Anwendung) von feinem Quarzsand mit mindestens 5 unterschiedlichen Wasserkonzentrationen (gleichzeitig Eichkurve)
Luftfeuchte	wegen zu hohem Aufwand nicht durchgeführt
Niederschlag	Werte geschätzt, weil aufgrund der Vorgaben unkritisch

Die geprüften Methoden bzw. Geräte

Lufttemperatur

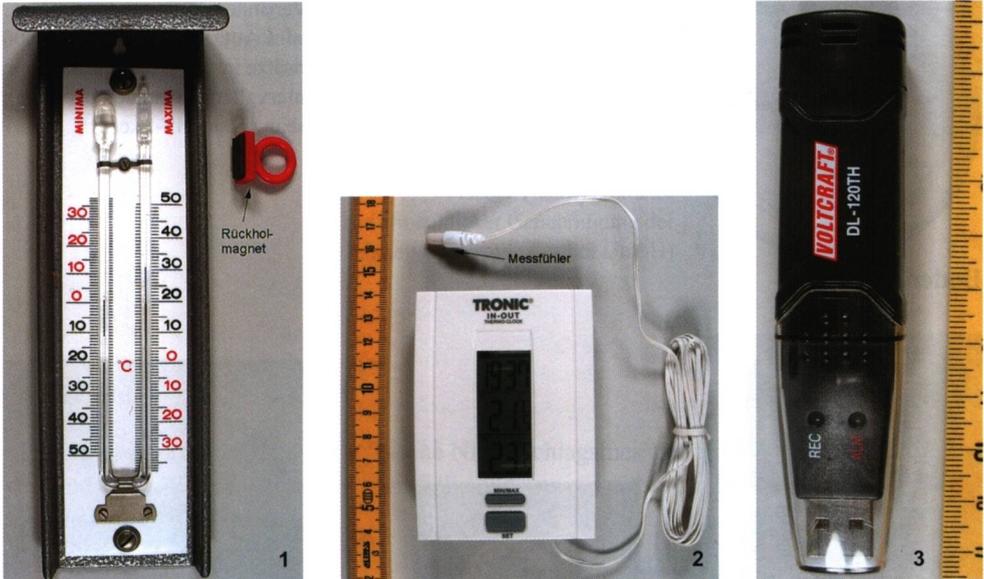


Abb. 1–3:

1: Quecksilber Min-Max-Thermometer. Für die Erfassung täglicher oder wöchentlicher Extremwerte – **2:** Elektronisches Min-Max-Thermometer („Tronic“). Für die Erfassung täglicher oder wöchentlicher Extremwerte – **3:** Voltcraft USB-Temperatur-/Luftfeuchte-Logger. Digitales Aufzeichnungsgerät, 32000 Datensätze in frei programmierbaren Zeitintervallen (Sekunden bis Tage), einlesbar z.B. in MS-Excel.

Bodentemperatur

Sollen tägliche oder wöchentliche Extremwerte erfasst werden, ist das bereits angeführte elektronische Min-Max-Thermometer verwendbar. Weitere Geräte s. Abb. 4–5.

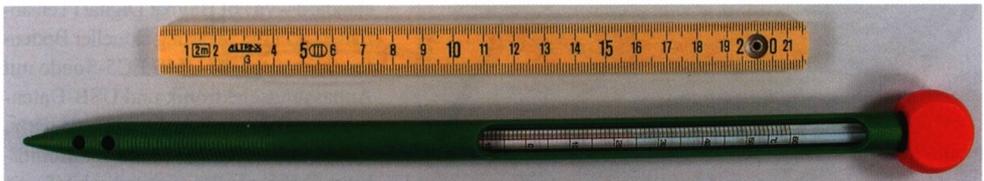


Abb. 4: Kompost-Einstechthermometer. Für die Messung aktueller Werte.



Abb. 5:
 Voltcraft USB-Temperatur-Logger in drei Versionen. Digitales Aufzeichnungsgerät, 32000 Datensätze in frei programmierbaren Zeitintervallen (Sekunden bis Tage), einlesbar z.B. in MS-Excel.

Bodenfeuchte

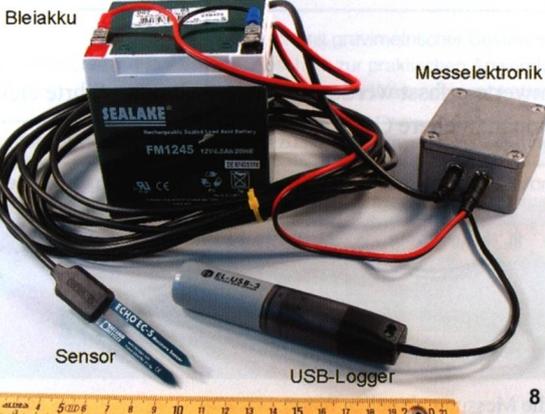


Abb. 6–8:
6: Voltcraft Feinwaage PS-250X0.05g zur gravimetrischen Feuchtebestimmung. Für die Messung aktueller Werte, Eichstandard – **7a+b:** Blumat Digital (Tensiometer). Für die Messung aktueller Bodenfeuchtwerte – **8:** UMS EC5-Sonde mit Anpassungselektronik und USB-Datenlogger. Digitales Aufzeichnungsgerät, 32510 Datensätze in frei programmierbaren Zeitintervallen (Sekunden bis Tage), einlesbar z.B. in MS-Excel.

Luftfeuchte

Für die Aufzeichnung der Luftfeuchte kann der Voltcraft USB-Feuchte/Temperatur-Logger verwendet werden (s. Abb. 3). Die Messung aktueller Werte erlauben Haarhygrometer.

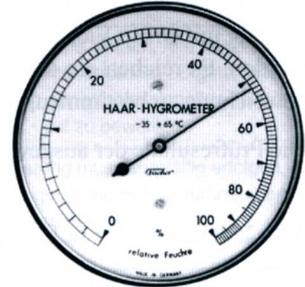


Abb. 9:
Fischer-Haarhygrometer
(mit freundlicher Genehmigung der
Feingerätebau K.Fischer GmbH)

Niederschlag

Einigermaßen preisgünstige elektronische Niederschlagsmessgeräte (Kipplöffel-Prinzip) sind erfahrungsgemäß im Feld meist recht anfällig und wenig präzise. Deshalb wurden sie in der Betrachtung nicht berücksichtigt.

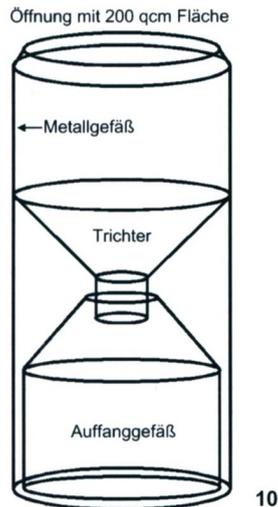


Abb. 10–11:

10: Regensammler nach Hellmann (Prinzipzeichnung). Die aufgefangene Wassermenge wird mit einem Messglas ermittelt. Für die Messung von Tages- und Wochensummen – **11:** Regensammler nach Diem. Für die Messung von Tages- und Wochensummen.

Prüfergebnisse

Temperatur und Luftfeuchte

Grundsätzlich sind für direkte Messungen handelsübliche Quecksilber- oder Alkoholthermometer geeignet. Die absolute Genauigkeit (Präzision) ist häufig unzureichend, kann aber durch eine Nach-eichung mit einem Eichthermometer und einem Wasserbad bei Umgebungstemperatur optimiert werden. Es reichen ein oder zwei Vergleichsmessungen, um die zu berücksichtigende Mess-abweichung zu bestimmen, weil die Eichkurven prinzipbedingt weitestgehend linear verlaufen.

Die Prüfergebnisse der ausgewählten Geräte sind in den folgenden Tabellen zusammengefasst.

Tab. 2: Prüfergebnisse zu Temperatur und Luftfeuchte.

Methode/Gerät	Präzision	Reprod.	Handhabung/Feldeignung
Kompost-Einstech-thermometer (Boden)	Muss meist nachgeeicht werden, dann akzeptabel	akzeptabel	Einfach zu positionieren, Ablesung grenzwertig und träge, ohne Schutzmaßnahmen im Feld einsetzbar
Quecksilber Min-Max-Thermometer (Luft)	ok	ok	Einfach zu positionieren, Ablesung etwas mühsam, träge, ohne Schutzmaßnahmen im Feld einsetzbar (bei Metall oder Kunststoffgehäuse)
Elektronisches Min-Max-Thermometer (für Luft und Boden)	Meist fraglich, sollte nachgeeicht werden, dann ok	ok	Bei Messung der Bodentemperatur muss die Positionierung mit Sorgfalt erfolgen, Ablesung einfach, Anzeigeeinheit nur mit Regenschutz (z.B. Plastikbeutel) im Feld einsetzbar
USB-Temperatur-/Feuchte-Logger (Luft)	ok	ok	Einfach zu positionieren, Daten-Auslesung einfach, einfache Schutzmaßnahmen im Feld erforderlich (s. Abschnitt zur praktischen Anwendung)
USB-Temperatur-Logger (für Boden-anwendung modifiziert)	ok	ok	Positionierung muss sorgfältig erfolgen, Daten-Auslesung einfach, einfache Schutzmaßnahmen im Feld empfohlen (s. Abschnitt zur praktischen Anwendung)
Fischer Haarhygro-meter (für Luftfeuchte)	grenzwertig, kann nachgeeicht werden (aufwändig!)	grenzwertig	Einfach zu positionieren, Ablesung akzeptabel, mit einfachen Schutzmaßnahmen im Feld einsetzbar

Bodenfeuchte

Tab. 3: Prüfergebnisse zu Bodenfeuchte.

Methode/Gerät	Präzision	Reprod.	Handhabung/Feldeignung
Gravimetrie	Sehr gut	ok	Probennahme einfach. Alle weiteren Arbeitsschritte erfordern Sorgfalt, sind aber auch ohne professionelles Labor gut zu bewältigen
Tensiometer	grenzwertig	grenzwertig	Positionierung muss sorgfältig erfolgen, Ablesung gut, ohne Schutzmaßnahmen im Feld einsetzbar
EC-5 Sonde mit USB-Datenlogger	ok	ok	Positionierung muss sorgfältig erfolgen, Daten-Auslesung einfach, Schutzmaßnahmen im Feld erforderlich (s. Abschnitt zur praktischen Anwendung)

Niederschlag

Tab. 4: Prüfergebnisse zu Niederschlag.

Methode/Gerät	Präzision	Reprod.	Handhabung/Feldeignung
Sammler nach Hellmann	Nicht getestet, weil Gerät bei u.a. ökologischen Untersuchungen Standard ist		Einfach zu positionieren, Ablesung gut, keine Schutzmaßnahmen im Feld erforderlich
Sammler nach Diem	ok, wenn min. jede Woche 1x abgelesen wird (Verdunstung!)		Einfach zu positionieren, Ablesung akzeptabel, keine Schutzmaßnahmen im Feld erforderlich

Anwendung im Feld

Allgemein gilt, dass alle Parameter so nahe wie möglich „am Pilz“ und an einer typischen Stelle der Probefläche erfasst werden. Typisch bedeutet hier, dass extreme Geländeprofile, über- oder unterdurchschnittlicher Schattenwurf und einseitige Abstände zu Bäumen oder Sträuchern vermieden werden müssen.

Lufttemperaturen und Luftfeuchte müssen immer im Schatten gemessen werden, auch wenn es sich um unbeschattete Probeflächen handelt, z.B. Wiesen. Gute Dienste leisten hierbei z.B. größere Konservendosen mit ca. 10 mm großen Löchern in der Seitenwand (gegen Wind sichern!). Transparentes Plastik ist nicht geeignet, weil es Wärmestrahlung durchlässt, was bei geringer Luftbewegung zu Wärmestau führt. Auch Alufolie ist geeignet, wenn sie lose, aber windsicher, um die Messeinrichtung befestigt werden kann.

Die Bodenfeuchte ist ein Parameter, der vielen Einflüssen unterworfen ist. Es ist beispielsweise zu beachten, dass die Feuchte in der Nähe von Bäumen kurzzeitig höher sein kann, als die Umgebung. Dies liegt daran, dass Gehölze über ihre Krone Niederschlag sammeln und den Stamm

entlang in den Boden leiten („Stammabfluss“). Bei Trockenheit hingegen ist die Bodenfeuchte in Baumnähe erniedrigt, weil der Wurzelteller Wasser entzieht. Auch kleinräumige Gefügeunterschiede, wie vergrabene Steine oder wasserundurchlässige Tonlinsen verändern die Versickerung und damit die Feuchteigenschaften des Oberbodens. Geländeunterschiede wirken sich ebenfalls aus. Mulden sind in der Regel feuchter als erhöhte Partien. Auch Wasserläufe sind zu beachten. (Breite) Waldwege bzw. deren Böschungen bieten Pilzen durchweg ein anderes Wachstumsmilieu, als der umgebende Wald. Nach den Beobachtungen des Autors könnte ein wesentlicher Faktor dafür eine höhere Feuchte an der Bodenoberfläche durch Taufall sein, der wegen der geringeren Baumkronendeckung höher ist, als im Wald selbst (nächtliche Wärmeabstrahlung!). Je größer ein Untersuchungsgebiet ist, umso prägender wirkt sich unterschiedliche Kronendeckung aus und umso umsichtiger muss mit damit und den anderen Faktoren umgegangen werden. Das bedeutet entweder einen repräsentativen Messpunkt zu finden, oder/und mehrere Messpunkte einzurichten.

Häufig ist mit Wildschweinen zu rechnen, die Messanlagen aus Neugier oder Zufall umstürzen bzw. zerstören. Man kann versuchen mit handelsüblichen Vergrämungspräparaten oder anderen mit intensiv riechenden Substanzen (z.B. menschlicher Schweiß!) durchtränkte Textilien zu arbeiten. Optische Abschreckungsmethoden wie reflektierende CD-ROM oder Aluminiumfolien, ja sogar Elektrozaune, sind nach einiger Zeit wirkungslos, wie Jäger zu berichten wissen.

Thermometer, USB-Logger o.ä. sollten nicht an Zweige gehängt bzw. auf Wildwechselln aufgestellt werden, weil sich Reh- und Rotwild darin verfangen kann, z.B. beim Fegen des Gehörs.

Elektronische Messeinrichtungen sind meist mit Kabeln versehen, die für Nagetiere, aber auch manche Vögel attraktiv sind. Um Schäden zu vermeiden, müssen Zu- und Ableitungen entweder mit Panzerschläuchen versehen (im Handel gegen Marderschäden an Kraftfahrzeugen erhältlich) oder/und mit abschreckenden Substanzen imprägniert werden. Dazu zählen ökologisch unbedenkliche Präparate wie Minzöl, Mentholsalben („Wick Vaporup“) und capsicainhaltige Substanzen wie etwa Chilipfeffer. Häufig sind die zuständigen Förster durchaus motiviert, Pilzforschung zu unterstützen und lassen durch ihre Forstarbeiter eine stabile Einfriedung errichten. Dies ist nicht nur zur Vermeidung von Wildschäden angezeigt, sondern auch bei Vandalismusgefahr z.B. an siedlungsnahen Standorten.

Es empfiehlt sich die z.T. sehr unauffälligen Messeinrichtungen mit bunten oder reflektierenden Fähnchen o.ä. zu markieren, um sie problemlos wieder auffinden zu können.

In der Pilzökologie ist vor allem die substratnahe Lufttemperatur bzw. -feuchte von Interesse, also zwischen 2 und 10 cm oberhalb der Streuaufgabe, der Kraut- oder Grasnarbe bzw. der Holzoberfläche. Die Bodentemperatur, wie auch die Bodenfeuchte, wird meist in 3 bis 5 cm Tiefe des Mineralbodens gemessen. Regensammler sind an Stellen aufzustellen, deren Beschirmungsgrad (Beschattung durch Vegetation) für die Probefläche repräsentativ ist.

Kompost-Einstichthermometer

Das Thermometer kann meist ohne vorzubohren positioniert werden. Es ist vornehmlich für Orientierungsmessungen geeignet.

Quecksilber Min-Max-Thermometer

Das Gerät lässt sich am einfachsten mit Hilfe eines selbst gebogenen Galgens aus kunststoffummanteltem Draht mit ca. 2 mm Durchmesser (Baumarkt, Gartencenter) im Gelände aufstellen. Der Messvorgang und das Zurücksetzen der Min-Max-Stifte sind nicht weiter erklärungsbedürftig.

Tronic Min-Max-Thermometer

Auch hier sollte das Anzeigergerät an einem Drahtgalgen o.ä. befestigt werden. Als Regenschutz kann z.B. ein Plastikbeutel über die Anordnung gezogen werden (nach unten offen halten, gegen Verblasung sichern!). Der wasserdichte Fühler zur Messung der Lufttemperatur muss frei an einer (Draht-) Halterung in der Luft hängen, ohne dass er gut wärmeleitende Teile der Halterung berührt, also am besten nur am Verbindungskabel.

Bei Anwendung als Bodenthermometer muss mit einem Vorstecher passenden Durchmessers (z.B. Kreuzschlitzschraubendreher mit Tiefenmarkierung, s. Abb. 17) vorgebohrt werden. Nach Einbringung des Sensors muss die Erde am Kabelaustritt leicht zusammengedrückt und die Streuschicht wieder hergestellt werden. Alternativ gibt es elektronische Min-Max-Einstichthermometer im Handel, z.B. das Orion Gartenthermometer, das dem Anschein nach gut geeignet ist (nicht getestet).

Die Eichung des Gerätes ist mit Hilfe eines (geliehenen) Thermometers mit $\pm 0,1$ °C Genauigkeit (s. Abschnitt „Bezugsquellen“) unproblematisch. Als Eichmedium wird kaltes Wasser verwendet, das sich unter Raumbedingungen erwärmt. Es reichen normalerweise drei Vergleichsmessungen bei unterschiedlichen Temperaturen aus, um den Korrekturfaktor zu ermitteln.

Haarhygrometer

Haarhygrometer sind aufgrund ihrer Konstruktion gegen Spritzwasser oder Regen etwas empfindlich und müssen deshalb mit einem nach unten offenen, windgesicherten Regenschutz versehen werden (Alu-Folie bei unbeschatteten Standorten, Plastiktüten, „Tupperware“ o.ä.). Die Reproduzierbarkeit ist grenzwertig, weil Hystereseffekte konstruktionsbedingt nicht auszuschließen sind. Als Hysterese wird der Umstand bezeichnet, dass Messwerte – je nach dem, ob sie gerade steigen oder absinken – manchmal unterschiedlich angezeigt werden.

Das Gerät kann, wie auch die Thermometer und USB-Logger, mit Hilfe eines Drahtgalgens aufgestellt werden. Dieser Gerätetyp kann zwar geeicht werden, was aber schwierig und aufwändig ist.

USB-Temperatur-/Luftfeuchte-Logger

Auch hier kann ein Drahtgalgen zum Aufstellen verwendet werden. Da der Kombinationssensor nicht hermetisch versiegelt ist, sollte das Gerät mit einem witterungsstabilen und kleinmaschigen Gewebe gegen Kleinin-



Abb. 12: Aufstellung des Lufttemperatur-/Luftfeuchte-Loggers im Gelände.

sekten u.ä. geschützt werden, z.B. mit einem kurzen Nylonstrumpf. Zusätzlich ist es ratsam eine Manschette aus elastischem Material (z.B. geschnitten aus einer Silikon-Backmatte) gegen übermäßigen Niederschlag überzustreifen. Die Abbildung 12 zeigt die Anordnung an einem Drahtgalgen. Die Batterie muss jährlich gewechselt werden (s. Geräteanleitung).

Die Programmierung und das Auslesen der Daten erfolgt anhand der mitgelieferten Software, die auf jedem PC installiert werden kann. Günstig ist eine stündliche Messfrequenz, weil damit alle relevanten Werte gemäß Standard des Deutschen Wetterdienstes berechnet werden können (WIKIPEDIA 2008a). Die Handhabung bei Installation und Anwendung ist in der Geräteanleitung enthalten und stellt keine besondere Herausforderung für PC-Nutzer dar. Die Daten können z.B. in MS-Excel importiert und weiter verarbeitet werden. Die Software tabellarisiert und visualisiert nicht nur Temperatur und rel. Luftfeuchte, sondern berechnet auch den Verlauf des Taupunktes.

USB-Bodentemperatur-Logger

Dafür kann eine modifizierte Version des Voltcraft USB-Temperaturloggers (siehe Abb. 5) verwendet werden, die durch Entfernen der Sensorkappe hergestellt wird. Ein kräftiger Ruck genügt. Auf die Kappe kann verzichtet werden, weil der Sensor wasserdicht verkapselt ist. Diese Version wird mittels einer Grabkelle (siehe Abb. 13) unter Vermeidung von Bodenverdichtung parallel zur Bodenoberfläche in der gewünschten Tiefe eingegraben.

Bei Böden, die schlecht drainieren oder Überflutungen ausgesetzt sind, empfiehlt es sich, den Datenlogger an der Nahtstelle zwischen Gehäuse und Steckerkappe mit einem selbstverschweißenden Isolierband zusätzlich abzudichten.

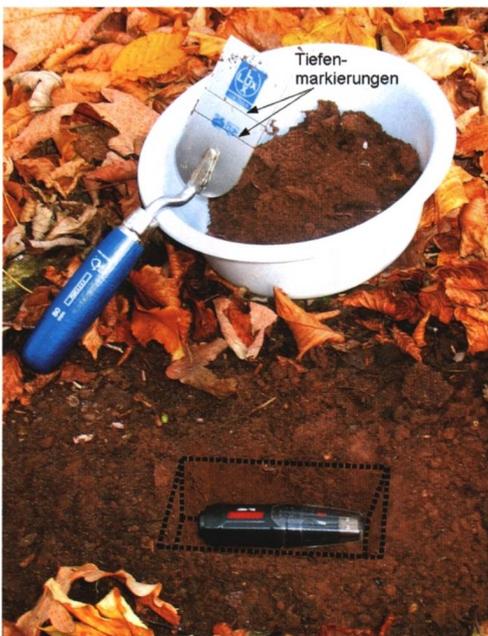


Abb. 13: Grabkelle und Positionierung des Temperaturloggers.

Soll punktgenau gemessen werden, kann der Temperaturlogger umgebaut werden (s. Abb. 5 und „Anhang > Anleitung zum Umbau eines Temperaturloggers“). Zur Positionierung im Feld wird der Fühler mit einem Vorstecher (siehe oben) in die gewünschte Tiefe gebracht. Wenn nötig, wird die Anordnung mittels eines Erdspießes mit abgewinkeltem, ringförmigen Ende aus starkem Draht gegen Verkippen gesichert.

Gravimetrische Bestimmung der Bodenfeuchte

Der Vorgang ist unkompliziert und mit einfachen Mitteln zu bewerkstelligen, wenn auch etwas zeitraubend. Die Methode ist deshalb nur sinnvoll, wenn genaue Feuchtwerte benötigt werden. Voraussetzung ist eine Waage mit ausreichender Genauigkeit ($\pm 0,05$ Gramm). Gut bewährt hat sich das in Abb.6 dargestellte Modell. Der Arbeitsablauf ist wie folgt:

- Proben aus der gewünschten Tiefe entnehmen, Menge jeweils ca. 100 g, Transport in Schraubdeckelgläsern oder verschließbaren Plastikbeuteln. Proben gekühlt, aber nicht länger als einen Tag aufbewahren.
- etwa 20 g der feuchten Erde in einem hitzebeständigen Behälter (Porzellanschale, Becherglas, Silikon-Muffinform u.ä.) abwiegen.
- Erde bei etwa 110 °C für etwa 2 Stunden bzw. bis zur Gewichtskonstanz trocknen. Ein Backofen reicht dazu völlig.
- Erde abkühlen lassen und sofort erneut abwiegen. Längeres Stehen an feuchter Luft kann den Messwert verfälschen.
- Die Gewichtsdifférenz wird dann bezogen auf die feuchte Erde in Prozent Wassergehalt berechnet.

Für Eichzwecke sollten mindestens fünf Messwiederholungen von mindestens vier Wassergehalten des Substrates bestimmt und die Ergebnisse gemittelt werden (s.a. Abschnitt „EC5-Sonde mit Datenlogger“).

Blumat Digital Tensiometer (Bodenfeuchte)

Tensiometer bestehen aus einer mit Wasser gefüllten, röhrenförmigen Kammer. Eine Seite ist mit einem Vakuummeter versehen. Die andere Seite ist mit einem keramischen, porösen Material – in diesem Fall eine Tonzelle – verschlossen, das mit dem Erdreich in Kontakt steht. In der Kammer entsteht ein Unterdruck, weil die mehr oder weniger trockene Erde über die Kapillaren der Tonzelle Wasser absaugt. Der Druckabfall in mBar oder kPa ist Ausdruck des Wassergehaltes des Bodens, was aber von der Bodenart abhängig ist. Die Saugspannung ist nicht direkt proportional zum Wassergehalt (Gewichts- oder Volumenprozent, WIKIPEDIA 2008b). Soll der Wasseranteil ermittelt werden, muss eine kleinteilige Eichkurve durch gravimetrischen Vergleich mit Hilfe von Erdproben aus der Probefläche erstellt werden.

Das Tensiometer wird mit Wasser gefüllt und die Tonzelle mindestens eine Stunde gewässert. Es wird dann mit Hilfe eines Vorbohrers (Holz, Kunststoff, Metall; geformt wie die Tonzelle, Durchmesser etwas geringer) auf die gewünschte Tiefe gebracht. Das Wasser muss regelmäßig ergänzt werden, bei Trockenheit sogar täglich. Weitere Einzelheiten sind der Betriebsanleitung zu entnehmen. Ein Nachteil der sonst zuverlässigen Methode ist die Tatsache, dass die Tonzelle einige Zentimeter lang ist und deshalb eine schichtgenaue Messung nicht möglich ist.

EC5-Sonde mit Datenlogger (Bodenfeuchte)

Die Sonde nutzt die Tatsache aus, dass sich elektrische Signale mit hohen Frequenzen unterschiedlich in unterschiedlichen Medien verhalten (kapazitives Messprinzip). Vor allem Wasser hat einen großen Einfluss auf solche Signale. Die EC5-Sonde wird normalerweise mit speziellen Datenloggern betrieben, die jedoch mehr als 1000 Euro kosten. Die hier vorgestellte Messanordnung incl. Sonde kostet im Eigenbau durch Werkstätten an Forschungsinstituten bzw. durch den elektronisch versierten Heimwerker lediglich 250 Euro (s. Anlage „Bauplan und technische Daten der Speicherelektronik für die EC5-Sonde“).

Die Bodenart hat bei diesem Sensor wegen der hohen Betriebsfrequenz kaum Einfluss. Deshalb kann die Messanordnung mit Hilfe feuchten Quarzsandes geeicht werden. Es genügen vier Messpunkte, nämlich trockener Sand und Sand mit 4-8, 12 bzw. 16 % Feuchte. Dazu wiegt man

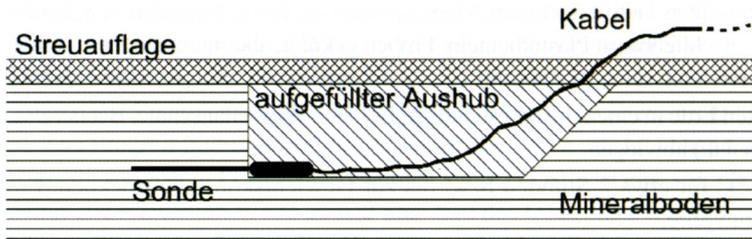


Abb. 14:
Positionierung der
EC5-Sonde.

mit einer Küchenwaage o.ä. zunächst ca. einen Liter Sand z.B. in einem Küchenmessbecher ab, berechnet davon 4 % und fügt diese Menge an Wasser mit Hilfe eines Messzylinders zu. Nach gründlichem Mischen wird die Sonde vollständig (!) in den Sand gedrückt. Am Kabel zum Datenlogger kann nun die resultierende Spannung in Volt mittels eines Multimeters gemessen werden, was man fünf mal wiederholt und die Ergebnisse mittelt. Der genaue Wassergehalt des Sandes wird dann gravimetrisch bestimmt (s. oben). Die weiteren Feuchtegrade werden schrittweise durch Untermischen der entsprechenden Wassermengen eingestellt, gemessen und wieder gravimetrisch bestimmt. Aus den Werten wird nun eine Eichkurve berechnet (x-Achse Spannung, y-Achse % Feuchte), am besten mit einem Tabellenkalkulationsprogramm. Sollte die Kurve keine Gerade bilden, muss der Eichvorgang wiederholt werden. Aus den x- und y-Werten kann man nun die Steigung „s“ berechnen (lassen). Sie entspricht dem Umrechnungsfaktor von Spannung „U“ zu % Feuchte, also $U \cdot s = \% \text{ Feuchte}$.

Zur Installation im Feld wird mit Hilfe der bereits beschriebenen Grabkelle der Mineralboden bis zur markierten Tiefe abgestochen, ausreichend Boden ausgehoben und in einem Behälter zwischengelagert. Die Sonde wird nun seitwärts, also parallel zur Bodenoberfläche bis zum Anschlag vorsichtig (Steine!) in die Erde gedrückt (s. Abb. 14).

Falls die Erde zu trocken ist und deshalb zu viel Widerstand entgegengesetzt, muss der Boden angefeuchtet werden. Die ausgehobene Erde wird nun wieder eingefüllt, leicht angedrückt und mit der umgebenden Streu, bzw. Vegetationsnarbe (z.B. Grassoden) abgedeckt. Im Gegensatz zu Tensiometern misst die EC-Sonde nicht nur genauer, sondern lässt sich auch weit präziser in der gewünschten Tiefe positionieren. Der Datenlogger sollte so programmiert werden (siehe Abschnitt „USB-Temperatur-/Luftfeuchte-Logger“), dass die Messreihe frühestens nach einem Tag beginnt, damit sich die Feuchte in der Grabungsstelle wieder gleichmäßig verteilen kann.

Regensammler

Der Sammler nach Diem ist zwar verdunstungsanfälliger als der Hellmann'sche, dafür aber wesentlich preisgünstiger. Im Übrigen kann man mit Alufolie oder einem angeschlitzten Plastikrohrabschnitt (DN-110 HT-Abflussrohr, siehe Abb. 11) die Verdunstung stark einschränken. Wichtig ist dabei nur, dass ein solcher Schutz nicht über die Öffnung des Sammlers herausragt oder sie verengt. Aber selbst ohne Schutz bewegt sich der Verdunstungsfehler bei wöchentlicher Ablesefrequenz weit unter der geforderten Genauigkeit.

Der Diem'sche Sammler wird mit Hilfe eines Rundstabes, z.B. eines Besenstiels, oder Rohres aufgestellt (s. Abb. 11). Die Hellmann'sche Version benötigt ein stabileres Stativ, also z.B. ein Wasserrohr, das mindestens 50 cm tief eingeschlagen wurde. Die Aufstellhöhe über dem Erdboden sollte dem in Deutschland verwendeten Standard folgen. Der Deutsche Wetterdienst schreibt

vor: bei einer Stationshöhe <500 m ü. NN einen Meter, bei >500 m ü. NN eineinhalb Meter und bei > 800 m ü. NN zwei Meter über Grund (WIKIPEDIA 2008c). Der Abstand zu Hindernissen sollte mindestens so groß sein, wie die Hindernishöhe (FLEMMING 1995: 36).

Auffanggefäße sollten ein mal pro Jahr gründlich von Schmutz und Algen befreit werden (Spülmaschine).

Diskussion

Die häufig beobachtete Praxis, Witterungsdaten von der nächsten Messstation des Deutschen Wetterdienstes oder eines Hochwassernachrichtendienstes (z.B. <http://www.hnd.bayern.de/>) zu übernehmen, sollte vermieden werden. Das Temperatur- und Feuchtigkeitsverhalten auf einer Probefläche ist kleinräumigen Unterschieden ausgesetzt und kann deshalb erheblich von den Daten offizieller Wetterstationen abweichen (Gelände- bzw. Mikroklima, s. VAN EIMERN & HÄCKEL 1979).

Die Anforderungen an die Genauigkeit der vorgestellten Methoden (s. Abschnitt „Prüfvorgaben“) sind zugunsten der Kosten nicht so hoch angesetzt worden, wie dies sonst in der biologischen Forschung üblich ist. Da es aber in der feldbezogenen Pilzökologie in aller Regel auf den Verlauf von Parametern ankommt (Trend), ist weniger die Präzision der Wertbestimmungen aussagekräftig, sondern ihre Reproduzierbarkeit. In dieser Hinsicht sind alle hier beschriebenen Methoden geeignet, auch was die Zuverlässigkeit angeht.

Niederschlagsmesser sind nur im Freigelände einigermaßen genau. Die Aufstellung unter Bäumen und Sträuchern ist dann angebracht, wenn der Bestandsniederschlag bzw. der durch den Abschirmungseffekt der Baumkronen zurückgehaltene Niederschlag im Vergleich zum Freiland von Interesse ist (Interzeption, s.a. FLEMMING 1995: 76f).

Geräte und Verfahren, die lediglich punktuelle Messungen zulassen, sind nur von begrenztem Wert. Um z.B. Temperatur-Tages-Minima und Maxima annähernd zu ermitteln, müsste zumindest etwa eine Stunde nach Sonnenhöchststand und ein bis zwei Stunden vor Sonnenaufgang gemessen werden, was wenig praktikabel ist. Deshalb sind Min-Max-Thermometer zu bevorzugen.

In der feldbezogenen Pilzökologie sind vornehmlich die zeitlichen Verläufe von Witterungsparametern von Interesse. Aus diesem Grund sollten den Aufzeichnungsgeräten der Vorzug gegeben werden. Ansonsten sind die Gerätschaften meist im normalen Handel erhältlich (s. „Anhang > Bezugsquellen und Preise“).

Tensiometer für den Hobbygärtner haben attraktive Preise und sind für Trendermittlungen durchaus geeignet. Man muss sich aber darüber im Klaren sein, dass dieser Sensortyp beim Ansteigen der Bodenfeuchte schneller reagiert, als beim Austrocknen des Bodens (Hysterese). Außerdem können niedrigpreisige Tensiometer Daten nicht aufzeichnen. Deshalb sollte, wann immer möglich, die EC5-Sonde mit Datenlogger verwendet werden.

Nicht geprüft wurden digitale Umwelt-Kombinationsmessgeräte, wie sie im Elektronikhandel schon ab 40 Euro erhältlich sind. Die Messverfahren (Temperatur, Lichteinstrahlung usw.) sind aber so ausgereift, dass solche Geräte nach Eichung wohl ohne Bedenken verwendet werden können. Nicht geeignet sind preisgünstige Feuchtetester, so wie sie für die Messung des Wassergehalts von Holz oder Mauerwerk angeboten werden. Sie messen letztlich den Wechselstromwiderstand des Substrates, eine Methode, die höchst ungenau ist, wie die Erfahrung des Autors zeigt (HALBWACHS 2007).

Die hier vorgestellten Auswahlkriterien, Prüf- und Eichmethoden ermöglichen es, auch andere preisgünstige Messgeräte zu nutzen, die zahlreich auf dem Markt angeboten werden. Allerdings sind die Vorteile der USB-Datenlogger im Verhältnis zu den Kosten unübersehbar, zumal sie auch für Freizeitmykologen erschwinglich sind, vielleicht mit Ausnahme der EC-Sonde mit Datenlogger für die Messung der Bodenfeuchte.

Zitierte Literatur

- BÄSSLER, C. & H. HALBWACHS (2009): Mykorrhizapilze im Höhengradient. Steuergrößen von Diversität und Biomasse – DGfM-Kurzmitteilungen. *Zeitschrift für Mykologie* **75/1**: 49-50.
- FLEMMING, G. (1995): Wald – Wetter – Klima, Einführung in die Forstmeteorologie. – Deutscher Landwirtschaftsverlag Berlin.
- HALBWACHS, H. (2007): Fruchtkörperbildung bei saprotrophen und Mykorrhizapilzen: Ein Beitrag zur Ökologie von Großpilzen in einem Kiefernforst der Rhein-Main-Ebene. – *Zeitschrift für Mykologie* **73/2**: 145-202.
- VAN EIMERN, J. & H. HÄCKEL (1979): Wetter- und Klimakunde. – Verlag Eugen Ulmer Stuttgart: 125.
- WIKIPEDIA (2008a): Tagesmitteltemperatur. <http://de.wikipedia.org/wiki/Tagesmitteltemperatur>.
- WIKIPEDIA (2008b): Wasserspannungskurve. <http://de.wikipedia.org/wiki/Wasserspannungskurve>.
- WIKIPEDIA (2008c): Niederschlagsmesser. <http://de.wikipedia.org/wiki/Niederschlagsmesser>.
- WIKIPEDIA (2008d): Fehlerfortpflanzung. <http://de.wikipedia.org/wiki/Fehlerfortpflanzung>.

Weitere Literatur zum Thema

- BRUCKER, G. & D. KALUSCHE (1990): Boden und Umwelt, Bodenökologisches Praktikum. – Quelle & Meyer, Heidelberg-Wiesbaden.
- STEUBING, L. & A. FANGMEIER (1992): Pflanzenökologisches Praktikum. Ulmer, Stuttgart.

Anhang

Bauplan und Betriebsdaten der Speicherelektronik für die EC5-Sonde

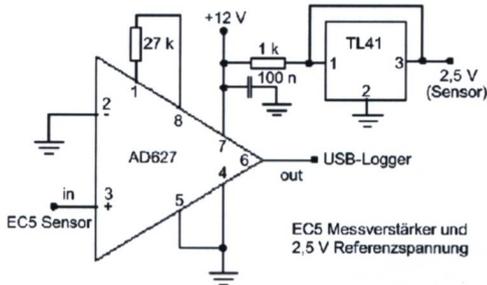


Abb. 15: Schaltung des Messverstärkers mit Referenzspannungsquelle.

Messanordnung wird mit einem 12 V/4,5 Ah Blei-Gel-Akkumulator betrieben und mit einer Kunststoffbox („Eurobox“) gegen Niederschlag geschützt. Auf eine Stabilisierung der Versorgungsspannung wird zugunsten der Akku-Laufzeit verzichtet.

Die Komponenten der Messanlage werden gemäß Abb. 8 verschaltet.

Mit dem gewählten Blei-Akku lässt sich die Anlage bei etwa 10 mA Stromverbrauch zwei Wochen betreiben, bis er gegen einen aufgeladenen ausgewechselt werden muss. Der durch die Akkuentladung entstehende Fehler kombiniert mit der Genauigkeit der Sonde („Gauß'sche Fehlerfortpflanzung“, WIKIPEDIA 2008d) liegt deutlich unter den Anforderungen von $\pm 3\%$ Feuchte. Man kann den Entladungsfehler aber auch mit einem Faktor von 0,0026 Volt pro Stunde herausrechnen. Ebenfalls ist zu beachten, dass sich der vollgeladene Akku in den ersten ein bis zwei Stunden erheblich schneller entlädt, bis die stabile Entladung von 0,0026 Volt pro Stunde einsetzt. Der Akku sollte nicht unter 11,5 Volt entladen werden, um die Lebensdauer nicht unnötig einzuschränken. Die Anlage ist für den Einsatz zwischen 0 und +50 °C geeignet. Bei Unter- oder Überschreitung der Grenzwerte werden die Messungen ungenau.

Weitere Hinweise und eine detaillierte Teileliste sind beim Autor erhältlich (www.pilze-amorbach.de).

Die EC5-Sonde benötigt eine Betriebs- bzw. Referenzspannung von 2,5 Volt und die Möglichkeit, die als Gleichspannung ausgegebenen Messwerte über einen Messverstärker mit einem USB-Spannungslogger zu registrieren.

Die Referenzspannung und der Verstärker werden mit integrierten Schaltkreisen realisiert:

Die elektronische Schaltung ist in einem wasserdichten Aluminiumgehäuse untergebracht, das Störstrahlungen abschirmt. Als Datenspeicher wird der Lascar USB-Spannungslogger Typ EL-USB-3 eingesetzt. Die

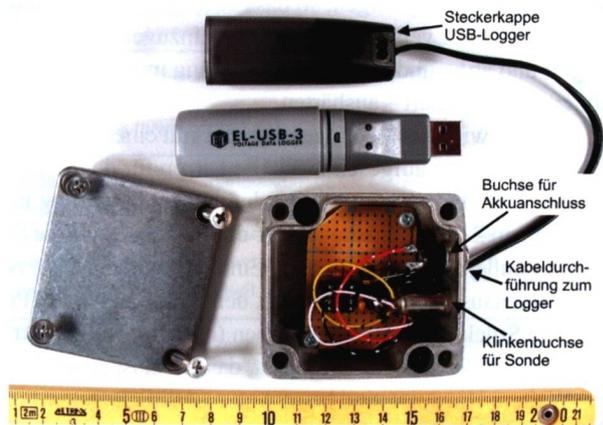


Abb. 16: Mechanischer Aufbau der Elektronik.

Anleitung zum Umbau des Voltcraft USB-Temperaturloggers

Zum Umbau des Temperaturloggers muss nach Abziehen des Außengehäuses der Sensor mit einem feinen LötKolben ausgebaut werden (Polarität festhalten!). Dann wird das Außengehäuse vollständig von vorne durchbohrt (5 mm Ø). Das Verlängerungsrohr mit 5 mm Durchmesser (Aquarienhandel, Länge im Prinzip frei wählbar) wird am unteren Ende mit einer kleinen Aussparung für Verlängerungsdrähte versehen. (s. Abb. 17).

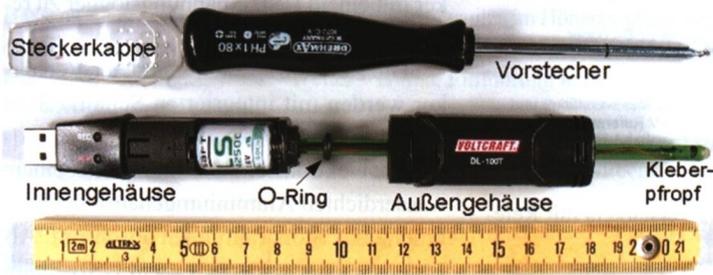


Abb. 17: Umbau des Temperaturloggers, Vorstechers für die Aufstellung im Gelände.

nun ein dicker Tropfen 2-Komponentenkleber (UHU+ o.ä.) aufgetragen und der Sensor wieder in das Rohr hineingezogen, so dass er in dem entstehenden Kleberpfropf am Rohrende eingeschlossen wird. Eventuell muss Kleber hinzugefügt werden, damit der Rohrabschluss völlig versiegelt und abgerundet ist. Die Anordnung muss nun – Pfropf nach unten, Anschlussdrähte am anderen Ende fixiert – aushärten.

Danach wird das Verlängerungsrohr mit einem kleinen O-Ring versehen und das durchbohrte Außengehäuse aufgeschoben. Die Litzen für den Anschluss an die Loggerelektronik vorher entsprechend kürzen und seitlich durch die Aussparung im Rohrende führen. Mit sparsam aufgetragenem 2-Komponentenkleber das Rohrende auf die Stirnseite des inneren Gehäuses setzen und das äußere Gehäuse bis zum Einrasten aufschieben. Nach Aushärten des Klebers wird das äußere Gehäuse wieder abgezogen, der Sensor angelötet (Polarität beachten!) und der O-Ring erneut ein Stück nach oben geschoben (evtl. mit Silikonfett versehen). Zum Schluss werden die Gehäuse wieder zusammen gesetzt, das Gerät ist einsatzbereit.

Weitere Hinweise sind beim Autor erhältlich (www.pilze-amorbach.de).

An den Sensor werden zwei dünne Litzen (länger als das Rohr) gelötet und in das Rohr so eingeführt, dass die beiden Verlängerungsdrähte am Aussparungsende und der Sensor mit seinen Lötstellen am anderen Ende herausragen. Auf die Lötstellen des Sensors wird

Bezugsquellen und Preise

Als Bezugsquellen werden vorzugsweise solche genannt, die nicht im Fachhandel angesiedelt sind und somit die Geräte bzw. Bauteile auch von Freizeitmykologen einfach zu beschaffen sind.

Tab. 5: Bezugsquellen und Preise.

Messgeräte	Bezugsquelle	Preis
Blumat Digital Tensiometer	Weninger GmbH & Co KG (www.blumat.info)	ca. 30 Euro
Eichthermometer	Gehören zur Standardausrüstung von Apotheken. Auch Schulen haben häufig geeichte Thermometer.	Ausleihen
Einstich-Kompostthermometer	Baumarkt, Gartencenter, Internet-Versandhandel	3–5 Euro
Fischer Haarhygrometer	Baumärkte, Internet-Versandhandel, s.a. www.fischer-barometer.de/datenblaetter/D111_01.pdf	ca. 30 Euro
Grabkelle („Stukkateurspachtel“, Edelstahl, 50–60 mm breit)	Baumärkte, Westfalia Werkzeugco. GmbH & Co KG (www.westfalia.de)	ca. 5 Euro
Messzylinder aus Kunststoff oder Glas, 250 ml	eBay, Zubehörhandel für Winzer	6–8 Euro
Orion Einstichthermometer	http://www.wettershop-klein.de/thermometer/html/thermometer-garten.htm Conrad Elektronik (www.conrad.de)	10–30 Euro
Quecksilber Min-Max Thermometer	Metall: Manufactum (www.manufactum.de), Plastik: Baumärkte, Internet-Versandhandel	10–15 Euro
Regenmesser nach Diem	Baumärkte, Online-Versandhandel, z.B. http://www.wettershop.de/default.htm	ca. 5 Euro
Regenmesser nach Hellmann	Online-Versandhandel, z.B. http://www.wettershop.de/default.htm	ca. 60 Euro
Tronic Min-Max Thermometer	Baumärkte, Internet-Versandhandel	5–12 Euro
Voltcraft Feinwaage PS-250	Conrad Elektronik (www.conrad.de); über den Onlinehandel gibt es mittlerweile sehr preisgünstige und viel versprechende elektronische Feinwaagen (z.B. für Juweliers), die aber nicht geprüft wurden	ca. 76 Euro
Voltcraft USB-Feuchte-/Temperaturlogger DL-120TH	Conrad Elektronik (www.conrad.de)	ca. 60 Euro
Voltcraft USB-Temperaturlogger DL-100T	Conrad Elektronik (www.conrad.de)	ca. 45 Euro

Tab. 6: Teile für EC5-Sonde mit Datenlogger.

Teile für EC5-Sonde mit Datenlogger	Bezugsquelle	Preis
Alu-Druckgussgehäuse G104 für die EC5 Elektronik	ELV Elektronik AG (www.elv.de)	ca. 6 Euro
EC5 Bodenfeuchtesonde	UMS GmbH (http://www.ums-muc.de/produkte/ech2o/ec5.html)	ca. 140 Euro
Eurobox mini (H 11 cm, B 12 cm, L 18 cm), Wetterschutz für EC5 Elektronik	Edeka Lebensmittelmärkte	ca. 2,50 Euro
Messverstärker AD627AN für die EC5 Elektronik	RS Components GmbH (www.rsonline.de)	ca. 12 Euro
Sealake Bleiakku FM1245 (12 V, 4,5 Ah) für EC-Sonde	Pollin Electronic GmbH (www.pollin.de)	ca. 11 Euro
Spannungsregler TL431 und alle anderen Komponenten für die EC5 Elektronik	Conrad Elektronik (www.conrad.de)	insgesamt ca. 18 Euro
USB-Spannungslogger EL-USB-3 (für die Bodenfeuchtemessung mit der EC5-Sonde)	Conrad Elektronik (www.conrad.de)	ca. 74 Euro



Deutsche Gesellschaft für Mykologie e.V.
German Mycological Society

Dieses Werk stammt aus einer Publikation der **DGfM**.

www.dgfm-ev.de

Über [Zobodat](#) werden Artikel aus den Heften der pilzkundlichen Fachgesellschaft kostenfrei als PDF-Dateien zugänglich gemacht:

- **Zeitschrift für Mykologie**
Mykologische Fachartikel (2× jährlich)
- **Zeitschrift für Pilzkunde**
(Name der Hefreihe bis 1977)
- **DGfM-Mitteilungen**
Neues aus dem Vereinsleben (2× jährlich)
- **Beihefte der Zeitschrift für Mykologie**
Artikel zu Themenschwerpunkten (unregelmäßig)

Dieses Werk steht unter der [Creative Commons Namensnennung - Keine Bearbeitungen 4.0 International Lizenz](#) (CC BY-ND 4.0).



- **Teilen:** Sie dürfen das Werk bzw. den Inhalt vervielfältigen, verbreiten und öffentlich zugänglich machen, sogar kommerziell.
- **Namensnennung:** Sie müssen die Namen der Autor/innen bzw. Rechteinhaber/innen in der von ihnen festgelegten Weise nennen.
- **Keine Bearbeitungen:** Das Werk bzw. dieser Inhalt darf nicht bearbeitet, abgewandelt oder in anderer Weise verändert werden.

Es gelten die [vollständigen Lizenzbedingungen](#), wovon eine [offizielle deutsche Übersetzung](#) existiert. Freigibiger lizenzierte Teile eines Werks (z.B. CC BY-SA) bleiben hiervon unberührt.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Zeitschrift für Mykologie - Journal of the German Mycological Society](#)

Jahr/Year: 2009

Band/Volume: [75_2009](#)

Autor(en)/Author(s): Halbwachs Hans

Artikel/Article: [Pilzökologische Datenerfassung muss nicht aufwändig sein Teil 1: Messung von Witterungseinflüssen für den schmalen Geldbeutel 87-104](#)